

管理科学

生物质原料运输成本分析与物流网络设计

张国晨 孙 飞 刘胜男
(天津大学管理与经济学部,天津 300072)

摘 要 物流网络的设计对于生物质原料企业的发展至关重要,以包头市某企业作为研究对象,通过对生物质原料运输成本的归纳分析,在明确原料物流成本和收储点位置的前提下,构建生物质原料物流网络模型。利用仿真优化、生物质原料物流网络模型,能够达到运输成本、库存成本、运营成本最优的原料调度方案,从而为生物质原料企业的原料物流网络建设和优化提供一定的参考与借鉴价值。

关键词 运输成本分析 生物质物流网络模型 原料调度
中图法分类号 F224.3; **文献标志码** A

一个企业必须建立商业目标以便对物流网络进行有效的设计和开发,一般有三种商业目标:总资金成本最小、运营成本最低以及服务水平最高^[1]。在生物质原料用于工业生产或者生物质发电的原料物流网络中,为保证原料的供应充足,库存就无法避免;而且企业内部的原料物流周转,并不存在对外界的服务水平问题^[2]。因此,在保证工厂原料需求量能正常得到供应的情况下,尽量降低原料物流网络的运输成本和运营成本是用生物质原料进行工业生产的企业的首要商业目标。在分析生物质原料运输成本的基础上,构建生物质物流网络模型,达到运输成本、库存成本、运营成本最优的调度方案。

1 生物质原料运输成本分析

物流成本是指伴随着企业的物流活动和运作过程中而发生的各种费用。以包头市某企业为研究对象,进行生物质原料成本的分析和原料调度方案的设计。在保证企业生产正常运作的前提下,生

物质原料运输成本主要包括:运输费(包含人工费、燃油及润滑油费用、维护费和轮胎费用摊销)、装车费、一般管理费用、车辆折旧费用和装载机折旧费用。

运输成本核算以月为单位,根据调研时获得的原料与产出量比率,为生物柴油及合成润滑油 10 万吨的年产值,每年需要其主要原料山桃 20 万吨,则每天需原料约 556 吨。以 20 辆运输能力为 10 吨的货车作为将原料从收储点运送至生产工厂的运输用车辆,假设从每个收储点运出的原料量相同,则根据表 1,每车平均的单程运输距离为 $(120 + 80 + 60 + 100 + 120 + 100 + 80 + 140)/8 = 100$ 公里

表 1 原料收储点到工厂的距离

收储点	1	2	3	4	5	6	7	8
距离/km	120	80	60	100	120	100	80	140

1.1 燃油及润滑油费用

运输车辆为装货量 10 t 的货车,当地柴油价为 6.6 元/L,运行期间测算出平均每台车每天消耗在燃油上的成本为 270 元,再加上 0.15 倍的润滑油费用,共需 310 元,则 20 台车每月消耗燃油和润滑油支出为: $310 \times 30 \times 20 = 186\,000$ 元,折算为每千吨每公里的费用: $186\,000 / (0.556 \times 30 \times 100) = 111.51$ 元/(kt·km)。

2011 年 2 月 9 日收到
第一作者简介:张国晨(1963—),男,河北保定人,天津大学管理与经济学部,博士生;研究方向:生物质能源。

1.2 维护费和轮胎费用摊销

运输车辆每天每台的维护费用和轮胎的摊销费用为 20 元,则每月支出的维护费用总额为: $20 \times 30 \times 20 = 12\,000$ 元,折算为每千吨每公里的费用: $12\,000 / (0.556 \times 30 \times 100) = 7.19$ 元/(kt·km)。

1.3 员工工资

支付每个驾驶员和维修工每月的基本工资、奖金及福利等总计为 3 000 元,目前驾驶员等其他工人共计 25 人,其每月的工资总额为: $3\,000 \times 25 = 75\,000$ 元,折算为每千吨每公里的费用: $75\,000 / (0.556 \times 30 \times 100) = 44.96$ 元/(kt·km)。

1.4 装车费用

每天原料的运输车次为 56 次,一台大功率的装载机装满一辆挂车的平均时间为 10 min,则装载机每天累计工作时间为 560 min,即 9.4 h,根据实际情况,装载机在满负荷运行时,一个小时的油费为 40 元,因此装载机每月支出为: $40 \times 9.4 \times 30 = 11\,280$ 元,折算为每千吨每公里的费用 $11\,280 / (0.556 \times 30 \times 100) = 6.76$ 元/(kt·km)。

1.5 折旧费

对运输车辆和其他相关设备采用平均年限来计算折旧额。货车和挂车的折旧年限一般为(10—15)年,每台货车和挂车的购入成本为 10 万元,假设每台货车和挂车的净残值为 5 000 元,则每台货车和挂车的年折旧额为: $(10 - 0.5) / 10 = 0.95$ 万元,则货车和挂车的每月折旧总额为: $(0.95 \times 10\,000 \times 20) / 12 = 15\,833.33$ 元。

折算为每千吨每公里的费用 $15\,833.33 / (0.556 \times 30 \times 100) = 9.49$ 元/(kt·km)。

装载机的折旧年限亦为 10 年,每个收储点的装载机购入成本约为 40 万元,设装载机的净残残率为 4%,则装载机的月折旧额为: $40 \times (1 - 0.04) / 120 = 0.32$ 万元,则 8 个收储点的装载机余额折旧总额为 $0.32 \times 8 = 2.56$ 万元。

折算为每千吨每公里的费用: $25\,600 / (0.556 \times 30 \times 100) = 15.35$ 元/(kt·km)。

故折旧总额为 24.84 元/(kt·km)。

1.6 一般管理费用

目前共有 4 名管理人员,每人每月支付工资为

2 500 元,则每月的费用支出为 10 000 元,考虑交通费、会议费等其他费用支出采用一般管理费用 1.25 倍的比例,总共需要 12 500 元,折算为每千吨每公里的费用 $12\,500 / (0.556 \times 30 \times 100) = 7.49$ 元/(kt·km)。

于是得出每月运输成本总额在折算为每千吨每公里成本后为:202.75 元/(kt·km)。

根据计算数据,得到生物质原料运输成本分析图 1。

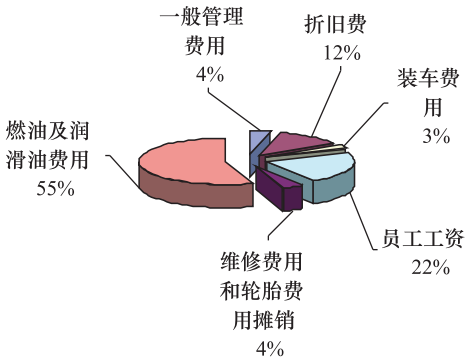


图 1 生物质原料运输成本饼状分析图

在生物质原料的运输成本中,运输车辆的燃油及润滑油费用占运输总成本的 55.0%,员工工资占 22.2%,折旧费占 12.3%,一般管理费用、维护费和轮胎摊销费、装车费用各占 3.7%、3.5%、3.3%。在实际生活中,员工工资、车辆等设备的折旧费、维护保养费等都属于较为固定的成本,压缩空间不大;一般管理费和装车费用占运输总成本的比例较小,其对原料运输总成本的影响并不显著;车辆燃油机润滑油费用占运输总成本的绝大部分,其压缩的空间比较大。

根据数据分析结果制定原料调度计划,合理安排运输车辆的运作,以期望最大限度的减小运输过程中燃油消耗,从而压缩运输成本,降低以生物质作物作为生产原料的企业生产成本,对该类企业具有较强的现实意义和使用价值。

2 生物质原料物流网络设计模型的建立

2.1 生物质原料物流网络设计模型的建立

物流网络包括:供货商、产品、工厂、仓库或配

送中心、运输服务及顾客服务^[3]。生物质原料物流系统有其不同于传统物流的特殊性,其基本组成包括:原料收储点、各种不同的原料、工厂和运输服务等。

生物质原料物流网络设计模型的目标函数是使得企业在原料调度过程中的运输成本、库存成本、和收储点的运营成本之和达到最小。现将生物质原料物流成本用 z 表示,则生物质发原料物流网络设计模型一般由以下部分组成即^[4]

MinZ = 运输成本 + 库存成本 + 收储点的运营成本。

主要约束:

- (1) 各收储点对生产工厂的供应 $\leq$ 收储点供应能力
- (2) 收储点到生产工厂的运输量 $\leq$ 运输能力
- (3) 从收储点得到的原料总量 $\geq$ 生产工厂消耗量
- (4) 生产工厂的流量守恒,即:进入工厂的原料量 = 工厂消耗的原料量 + 工厂料场剩余的原料量
- (5) 非负及整数约束

在模型建立中,将原料物流的运输成本、库存成本和收储点的运营成本分开讨论,分别建立模型。

2.1.1 运输成本模型的建立

运输生产过程是物流企业经营活动的中心环节,建立运输成本模型才能更好地对物流成本进行核算和控制^[5]。

在运输业中,经常广泛地应用数学规划来优化运输成本。由于企业用于生产生物柴油及合成润滑油的主要原料为山桃,可以采用以线性规划为基础的分配模型。用 H' 表示原料的运输成本,要在满足工厂原料需求的条件下尽量减少运输成本。

根据前文计算得到的生物质原料运输成本为 202.75 元/kt · km,可以计算得到 8 个收储点到工厂的原料运输费用 a_i (表 2)。

表 2 收储点到工厂的原料运输费

收储点	1	2	3	4	5	6	7	8
运费 a_i / (元 · t ⁻¹)	24.33	16.22	12.165	20.275	24.33	20.275	16.22	28.353

若生产计划按 n 个阶段进行(此处每一个月可视为一个生产阶段),则阶段的运输总成本模型为:

$$\begin{aligned} \min H' &= \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^n a_{i,k} q_{i,k} \\ \text{s. t. } &\begin{cases} \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^n q_{i,k} = Q \\ q_{i,k} \leq S_i \\ q_{i,k} \leq D \\ q_{i,k} \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

其中 a_i 为原料从第 i 个存储点到工厂的运输费用 ($i = 1, 2, \dots, 8$); q_i 为表示从第 i 个收储点到工厂的原料流量 ($i = 1, 2, \dots, 8$); Q 为工厂的原料需求量。

2.1.2 收储点库存成本和运营成本模型的建立

每个原料收储点的原料存储量是动态变化的,其随着时间的推移而发生变化。假设要制定一个 k 阶段的运输计划。各个收储点的初始库存量假设为已知,其值为 $S_{i,0}$,假设各收储点第 k 阶段初的原料存储量用 $S_{i,k}$ 表示, γ_i 为存储点当月加工的原料量,这是一个已知或可预测的量, x_i 为决策变量,表示为当月运走的原料量, $S_{i,k}$ 为状态变量,它表示第 i 个收储点第 k 阶段开始的库存量。则收储点的原料存储量可建立一个状态转移函数如下^[6]

$$S_{i,k+1} = S_{i,k} + \gamma_{i,k} - x_{i,k}$$

生物质原料每吨的库存成本和收储点运营成本为已知,因此每个收储点可以建立一个库存函数,用 g_k 表示第 k 阶段末各个收储点需支付的库存成本和运营成本, g_k 记为如下形式

$$g_k(S_{i,k+1}) = g_k(S_{i,k} + \gamma_{i,k} - x_{i,k})。$$

其二者总成本记为

$$G' = \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^n G'(S_{i,k+1})。$$

其中库存不能超过各个收储点的收储容量上限,即:

$$S_{i,k+1} \leq M_i (i = 1, 2, \dots, 8; k = 1, 2, \dots, n)。$$

2.1.3 总成本模型的建立

综合运输成本和收储点的库存及运营管理成本,可得到总成本的数学模型为

$$\min z = \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^n a_{i,k} q_{i,k} + \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^n G'(S_{i,k+1})$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} S_{i,k+1} = S_{i,k} + \gamma_{i,k} - x_{i,k} \\ 0 \leq S_{i,k+1} \leq M_i \\ x_{i,k} \leq S_{i,k} \\ 0 \leq x_{i,k} \leq D \\ S_{3,k+1} \geq D' \\ i = 1, 2, \dots, 8; k = 1, 2, \dots, n_0 \end{cases}$$

2.2 确定数学模型的约束条件

离工厂最近的收储点应起到战略储备作用,实现紧急情况下的原料供应。假设该部分用于战略存储的原料量需能够独立供应工厂正常生产4天,工厂每天的原料消耗量大于500 t,则战略储备的原料量至少为2 000 t,则该存储点的原料存储量最少不得少于2 000 t。于是产生一个新的约束条件,即离工厂距离最近的收储点3的原料存储量要大于等于2 000 t。

各个收储点的送料存储上限如表3所示。

由于生物质原料具有季节性的特点,因此可以把物流活动分为两个阶段:原料收购淡季和原料收购旺季。收购淡季每天每个原料收储点收购的原料量约为60 t,旺季每个收储点每天收购的原料量设为100 t。该企业生产生物柴油及合成润滑油所用原料山桃的果期为每年6—7月,因此设定原料收购的旺季为6—9月,为四个月,其余时间均为淡季。则原料收购旺季期间, γ_i 设为3 000 t,可以收购并加工原料 $100 \times 8 \times 30 \times 4 = 96\,000$ t,淡季期间, γ_i 设为1 800 t,可以收购并加工原料 $60 \times 8 \times 30 \times 8 = 115\,200$ t,合计211 200 t。

表3 各个收储点的送料存储上限

收储点编 号 <i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
(收储点B)	(收储点E)	(收储点K)	(收储点D)	(收储点G)	(收储点I)	(收储点J)	(收储点H)	
原料存储上限 M_i/t	8 000	13 000	8 000	12 000	8 000	10 000	10 000	10 000

该企业的生产工厂每年需要原料20万吨,则每月需要从8个收储点运出的原料至少为 $200\,000/12 = 16\,667$ t,则原料收购旺期每个月的约束条件为:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 &= 16\,667 \\ x_{i,k} &\leq s_{i,k} \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8; k = 6, 7, 8, 9) \\ s_{i,k} + 3\,000 - x_{i,k} &\leq M_i, \\ \text{即 } x_{i,k} &\geq s_{i,k} + 3\,000 - M_i \\ s_{3,k} + 3\,000 - x_{3,k} &\geq 2\,000, \\ \text{即 } x_{3,k} &\leq s_{3,k} + 1\,000. \end{aligned}$$

收购淡季的约束条件为:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 &= 16\,667, \\ x_{i,k} &\leq s_{i,k} \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8; k = 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12) \\ x_{i,k} &\geq s_{i,k} + 1\,800 - M_i, \\ x_{3,k} &\leq s_{3,k} - 200. \end{aligned}$$

2.3 算例

生物质原料物流数学模型是一个有约束的非线性规划的求最小值问题,Matlab优化工具箱中的fmincon函数是求解多变量有约束非线性函数极小值的函数,适合于求解该原料运输问题。因此,本文选用fmincon函数来进行优化计算^[7]。

2.3.1 典型月份的原料调度方案计算

首先取一个月的原料运送为例进行计算,设工厂从6月份开始正常运行,各个收储点的原料初始库存为5 000 t,工厂平均到每月的原料消耗量为16 667 t,一个自然月按30 d计算,则每天的原料消耗量为556 t。则6月份的等式约束条件如下:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 &= 166\,675\,000 + 3\,000 - x_i \leq M_i. \\ \text{即 } 0 &\leq x_i \leq 5\,000 \quad (i = 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8); \\ x_3 &\leq 6\,000. \end{aligned}$$

到月末每个收储点的原料存储量为

$$\begin{aligned} s_i &= 5\,000 + 3\,000 - x_i \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8); \\ \sum_{i=1}^8 s_i &= (5\,000 + 3\,000) \times 8 - \sum_{i=1}^8 x_i. \end{aligned}$$

而每个月从8个原料收储点运送出去的原料总量为一个固定值,即:

$$\sum_{i=1}^8 x_i = 16\,667.$$

所以 $\sum_{i=1}^8 s_i = (5\,000 + 3\,000) \times 8 - \sum_{i=1}^8 x_i$ 为一常量,又原料收储点的库存成本和运营成本是一个已知的固定值,即:

表 4 6 月份各个收储点运出的原料量

收储点	1	2	3	4	5	6	7	8
X_i/t	0	5 000	6 000	333.5	0	333.5	5 000	0

$G' = 24.35 + 4.49 = 28.84$ 元/ t 是一个固定值,因此 $\sum_{i=1}^8 G'S_i$ 是一个常量。其他月份依次类推,可见要使物流成本最小,即使 $\sum_{i=1}^8 a_i x_i$ 最小,具体的数学表达式为

$\min f = 24.33 \times x_1 + 16.22 \times x_2 + 12.165 \times x_3 + 20.275 \times x_4 + 24.33 \times x_5 + 20.275 \times x_6 + 16.22 \times x_7 + 28.353 \times x_8$ 约束条件如上文所示,把 M 文件和参数一起带入 fmincon() 函数中,计算结果如下。

- 6 月份各个收储点运出的原料量如表 4 所示。
- 6 月份原料运输费用为 24.87 万元。
- 6 月底各个收储点的原料存储量如表 5 所示。

表 5 6 月底各个收储点的原料存储量

收储点	1	2	3	4	5	6	7	8
S/t	8 000	3 000	2000	7 666.5	8 000	7 666.5	3 000	5 000

2.3.2 其他月份的原料调度方案计算及全年方案制定

同理,可求出每个月的约束条件。把 M 文件和参数一起带入 fmincon() 函数中,可得到其他月份月底各个收储点的原料存储量表和各个收储点到工厂的原料流量即全年原料运输安排表。

通过以上的优化计算,得到给定实例中工厂一年的原料运输方案如表 6 所示,该安排计划以一年为时间周期,从宏观上提出 8 个原料收储点的运输原料量计划,该计划使得在实例给定的条件下,全年的运输成本达到最小值 361.61 万元时,全年的原料总成本达到最小值 938.42 万元。每个月的原料运输成本如表 7 所示,从表中数据可以看出:6 月份的原料运输成本最少,为 24.87 万元;8 月份和 9 月份为运输成本最多的两个月,分别为 36.22,37.30 万元,因为其从距离工厂较近的收储点 2 和 7 运送的原料量很少。从 12 月份到 5 月份,每个月的运输成本相对比较平均,均在 33 万元上下浮动,其中,2 月份距离工场较近的收储点运往工厂的原料量较多,

因此其月运输成本相对后 6 个月份中的其他月份较少,其他月份每个收储点运出的原料量比较平均,因此其运输成本也变化不大。

表 6 全年原料运输量安排/ t

月份	收储点			
	1	2	3	4
6	0	5 000	6 000	333.5
7	3 000	3 000	3 000	0.5
8	3 000	0.5	3 000	1 666
9	3 000	0	1 667	3 000
10	0	5 999.5	133	2267.5
11	6 000	1 800	1 800	4 733.5
12	1 800	1 800	1 800	2 933.5
1	1 800	1 800	1 800	3 401.5
2	2 401.5	1 800	1 800	2 864
3	2 933.5	1 800	1 800	1 800
4	2 933.5	1 800	1 800	1 800
5	2 933.5	1 800	1 800	1 800
6	0	333.5	5 000	0
7	3 000	666.5	3 000	1 000
8	3 000	3 000	0.5	3 000
9	3 000	3 000	0	3 000
10	0	2 267.5	5 999.5	0
11	600	4 733.5	1 800	600
12	1 800	2 933.5	1 800	1 800
1	1 800	2 465.5	1 800	1 800
2	2 401.5	1 800	1 800	1 800
3	2 933.5	1 800	1 800	1 800
4	2 933.5	1 800	1 800	1 800
5	2 933.5	1 800	1 800	1 800

表 7 全年原料运输成本和总成本

月份	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
运输成本 /万元	24.87	32.17	36.22	37.30	28.82	31.84	33.79	33.79	34.27	34.71	34.71	34.71
总成本 /万元	72.93	80.23	84.28	85.36	76.88	79.90	81.85	81.85	82.33	82.77	82.77	82.77

3 结 论

在简介物流成本核算方法的前提下,选取包头市内以生物质作物山桃、山杏等作为生产原料的某企业为研究案例,以调研活动中取得的数据资料为依据,分析了生物质原料物流成本尤其是运输成本的构成,同时绘制运输成本构成比例图,分析原料物流网络成本的主次项目,为企业提供了实际的参考意见,同时便于开展下一步企业原料运输方案的设计工作。

另一方面,本文以企业收储点选址与优化得到的数据作为基础,通过建立合理的物流网络数学模型并利用 Matlab 进行优化计算提出了在保证企业工厂原料需求量能正常得到供应的前提下,使企业

全年原料物流总成本达到最小的运输计划。

参 考 文 献

1 邵瑞庆. 关于物流企业物流成本核算方法的探讨. 交通财会, 2006;(6):180—185

2 郑秧军. 企业物流成本管理框架构建及应用初探. 商场现代化, 2006;(16):89—103

3 蔡临宁. 物流系统规划:建模及实例分析. 北京:机械工业出版社,2003:101—106

4 秦明森. 物流作业优化方法. 北京:中国物资出版社,2003:124—135

5 沈家骅. 现代物流运筹学. 北京:电子工业出版社,2004:40—115

6 飞思科技产品研发中心. MATLAB6.5 辅助优化计算与设计. 北京:电子工业出版社,2003:3—4

7 李南南,吴 清,曹辉林. MATLAB7.0 简明教程. 北京:清华大学出版社,2006:30—36

The Transportation Cost Analysis and Logistics Network Construction of Biomass Materials

ZHANG Guo-chen,SUN Fei, LIU Sheng-nan

(School of Economic and Management, Tianjin University, Tianjin 300072,P. R. China)

[Abstract] Based on field research and getting information and data from relevant resources, the study is about logistics network of biomass costs. This is the first time study of logistics costs of raw materials costs , especially transportation cost analysis, detailed cost. Second, in the premise of determining the logistics costs of raw materials and storage positions, through the establishment of a reasonable mathematical model and optimizing the calculation by Matlab, we could get the best raw materials scheduling scheme of lowest costs on transportation ,inventory and operating ,thus offer some reference for this kind of enterprise on network construction of raw materials logistics and optimization.

[Key words] transportation cost analysis inventory and operating cost mathematical model biomass materials scheduling scheme