

姬晓岭 韩晓龙

(上海海事大学物流科学与工程研究院 上海 201306)

地下集装箱运输系统能够改善城市的空气雾霾状况,缓解地面交通的拥挤压力,逐渐成为新的研究热点。构建可选路径初始网络图,利用k最短路径算法求得备选路径。引入非直线系数作为最优路径的最终判定方法。在港口集装箱吞吐量预测基础上,以运输时间、运输费用、中转时间和碳排放量为影响因素构建路径评价组合模型。以外高桥港为例,使用MATLAB仿真求解。结果表明,地下集装箱运输系统的建立,不仅降低承运人的运输费用,也提高陆向集疏运效率,同时缓解港区道路拥挤,改善港区的空气水平。为地下集装箱运输系统的发展提供相关参考。

地下集装箱运输 港口集疏运 k最短路径 碳排放 路径选择 非直线系数

TP391.9 U169.79

A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2019.01.015

ANALYSIS OF INFLUENCE OF UNDERGROUND CONTAINER TRANSPORTION ON URBAN COLLECTION AND DISTRIBUTION SYSTEM

Ji Xiaoling Han Xiaolong

(Institute of Logistics Science and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract The underground container transportation system can improve the air haze in the city and relieve the congestion pressure of the ground traffic, which gradually becomes a new research hotspot. We constructed the initial network map of the alternative path, adopted the k-shortest path algorithm to obtain the alternative path, and used the non-linear coefficient as the final decision method of the optimal path. On the basis of port container throughput forecast, path evaluation model was constructed with the influencing factors of transportation time, transportation costs, transit time and carbon emissions. Taking Waigaoqiao port as an example, we used MATLAB simulation to solve the problem. The results show that the establishment of an underground container transportation system can not only reduce the carrier's transportation costs, but also improve the efficiency of land-to-land collection and distribution. It alleviates road congestion and improves the air level in the port area. It can provide relevant reference for the development of underground container transportation system.

Keywords Underground container transportation Collection and distribution system of port K-shortest path Carbon emission Path selection Non-linear coefficient

0

近年来,我国各大城市遭遇雾霾天气,空气质量已成为各城市关注热点。其中,由于货运车辆造成的废气排放以及道路拥堵情况尤为严重。尤其港口城市,由于港区在经济飞速发展的同时形成了以公路运输为

主的不合理集疏运体系,不仅使得港口周边的交通压力剧增,也使得港口的空气质量日益下降。然而在现有交通运输系统基础之上进行扩建并不是一种可持续发展方法^[1]。郭东军等^[2]探讨了发展地下集装箱运输系统深层原因。因此,地下集装箱运输系统作为一种新的可持续发展的运输方式正逐渐成为新的研究热点。

在国内外,针对地下集装箱运输系统主要进行了技术可行性研究^[3-6],针对该系统的定量研究文献还不多。范益群等^[7]指出建造地下集装箱运输系统的前期投入费用可能过高,但长远看,其带来的经济、环境和社会效益也不可估量。闫文涛等^[8]建立了从决策者角度出发的上层规划模型和从客户角度出发的下层规划模型,验证了双层规划模型在地下物流节点选址应用中的实用性和科学性。李彤等^[9]通过与蚁群算法和模拟退火算法进行比较,采用模拟植物生长算法得到城市地下物流网络的最优布局。周婷等^[10]以地下物流配送线路的总成本最小为目标,建立了地下物流网络的配送线路优化模型。

前述文献往往或是从政府、运营管理部门、货主的角度出发构建模型,忽略了承运人的选择;或是研究城区内建造地下集装箱运输网络节点选址问题和配送路径优化问题,没有考虑对港口集疏运的影响。本文则以地下集装箱运输系统的建造目的为基础,从集装箱承运人的角度出发,构建以运输成本、运输时间、中转时间和碳排放量为影响承运人路径选择的主要因素的路径评价组合模型。其中引入非直线系数进行最优路径选择。然后通过港口集装箱吞吐量的预测,对比地下集装箱系统建造前后线路的年运费和年碳排放量,验证地下集装箱运输系统带来的社会效益。

1

1.1

港口作为集装箱运输过程中的枢纽,其陆向集疏运承担着绝大部分运输职能,故陆向的集疏运系统的是否正常高效影响着港口的作业效率。随着国家有关部门的有效建设,以公路运输为主的港口集疏运逐渐向海-铁、公-铁联运转移,但社会经济的飞跃发展,使得港口的集装箱吞吐量也在不断上升,因此港口陆向集疏运的路径选择就尤为重要。

路径选择由路径的影响因素决定。一方面,从集装箱承运人角度出发,结合现有文献可以发现,运输路径的经济性和快速性是必然考虑因素之一。其中,长途运输过程中的中转时间也会占有较大比重。另一方面,响应国家号召,倡导绿色物流,本文也将考虑运输过程中的碳排放量。

本文在进行路径选择的方法上,引入了非直线系数。非直线系数 δ 是衡量线路便捷程度的重要指标,非直线系数值越接近1表明两点之间交通越便捷^[11]。非直线系数等于两点之间最短路线距离/两点之间的

空间直线距离。

因此,本文的路径评价组合有三个方面:运输时间、运输费用和碳排放量。

1.2

相关符号说明:

C_{pik} :港口 p 通过路径 k 到中转站 i 的单位运输费用;

C_{ihk} :中转站 i 通过路径 k 到腹地 h 的单位运输费用;

Q_{pik} :港口 p 通过路径 k 到中转站 i 的集装箱量;

Q_{ihk} :中转站 i 通过路径 k 到腹地 h 的集装箱量;

L_{pik} :从港口 p 到中转站 i 的路径 k 的长度;

L_{ihk} :从中转站 i 到腹地 h 的路径 k 的长度;

V_{pik} :从港口 p 到中转站 i 的路径 k 上的运输工具行驶速度;

V_{ihk} :从中转站 i 到腹地 h 的路径 k 上的运输工具行驶速度;

E_{pik} :从港口 p 到中转站 i 的路径 k 上的单位碳排放量;

E_{ihk} :从中转站 i 到腹地 h 的路径 k 上的单位碳排放量;

CI_i :中转站 i 的单位中转费用;

T_i :中转站 i 的单位中转时间;

E_i :中转站 i 的单位中转碳排放;

Q :港口 p 吞吐量;

L_{pi} :起点 p 到终点 i 的实际最短线路距离;

K_{pi} :起点 p 到终点 i 的空间直线距离。

根据上述信息构建路径评价组合模型:

$$Z_1 = \sum_i \sum_k C_{pik} Q_{pik} x_k + \sum_i \sum_k C_{ihk} Q_{ihk} x_k + \sum_i \sum_k CI_i Q_{ihk} x_k \quad (1)$$

$$Z_2 = \sum_i \sum_k \frac{L_{pik}}{V_{pik}} x_k + \sum_i \sum_k \frac{L_{ihk}}{V_{ihk}} x_k + \sum_i T_i \quad (2)$$

$$Z_3 = \sum_i \sum_k E_{pik} L_{pik} x_k + \sum_i \sum_k E_{ihk} L_{ihk} x_k + \sum_i \sum_k E_i Q_{ihk} x_k \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_k x_k Q_{pik} + \sum_i \sum_k x_k Q_{ihk} \leq Q \quad (4)$$

$$C_{pik} \geq 0, C_{ihk} \geq 0 \quad (5)$$

$$Q_{pik} \geq 0, Q_{ihk} \geq 0 \quad (6)$$

$$L_{pik} \geq 0, L_{ihk} \geq 0 \quad (7)$$

$$V_{pik} \geq 0, V_{ihk} \geq 0 \quad (8)$$

$$E_{pik} \geq 0, E_{ihk} \geq 0 \quad (9)$$

$$CI_i \geq 0, T_i \geq 0, E_i \geq 0, Q \geq 0 \quad (10)$$

$$x_k = \begin{cases} 1 & \text{选择路径 } k \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (11)$$

$$\delta = \frac{L_{pi}}{K_{pi}} \quad L_{pi} \geq 0 \quad K_{pi} \geq 0 \quad (12)$$

式(1) - 式(3)分别表示路径选择的指标,即单向运输过程的总费用、总时间和碳排放量;式(4)运往腹地集装箱量之和小于等于港口吞吐量;式(5) - 式(10)表示模型中的变量满足非零约束;式(11)表示决策变量;式(12)表示非直线系数 δ 。

2 k

使用简单、应用广泛的一种求解最短路径方法是传统的 Dijkstra 算法。以路径的长短作为权重,给出一条最短路径答案,但在现实生活中会有多种约束条件,比如整条线路的路况,花费的成本等。k 最短路径算法是 Dijkstra 算法的改进和延伸,可提供 k 条备选路径,使得用户在带有约束的条件下,选择最优行驶策略。胡红军等^[12]引入非直线系数和节点综合重要度组成联合熵权,将其作为现代有轨电车最优路径的判定参数,并使用 k 最短路径算法进行线网优化。

因此在本文中,引入非直线系数的约束,不仅考虑了路线的长度,也考虑了路线的便捷程度。所以在找到一条最短路径的情况下,更希望找到次优、再次优路径,通过综合对比,得到最优运输路径。应用 k 最短路径算法,将港口陆向集疏运网络中的港口、腹地城市、中转站视为顶点,路径视为连接各顶点间的边,路径的长度视为边的权重,在求得前 k 条最短路径后,通过非直线系数的优化得到最合适的路径。

3

上海外高桥港位于上海的北部,现有的陆向集疏运方式中,公路运输占近 90% 左右,而来往江浙方向及上海市内方向的货物,更是主要通过上海外环高速和绕城高速共用外环隧道来运输,因此本文主要考虑陆向集疏运中的公路运输。这种集疏运方式加重了外高桥港口周边的道路交通拥堵、环境污染等问题。

3.1

根据上海市的高速公路网进行分析,将来往江浙及上海市内方向的车辆可能会经过的高速公路加入到初始网络图中。主要选择三个方向上的起终 OD 对, $OD = \{(S_0, T_1), (S_0, T_2), (S_0, T_3)\}$,即以外高桥港为起点(S_0),以上海市内的高速公路为主,以高速路交叉口为路径转换节点,分别以常熟方向(T_1)、苏州方向(T_2)、嘉兴方向(T_3)的边界高速路口为终点,经过适当修正,构建初始网络图。如图 1 所示。该网络图包含 35 个节点和 56 条边。

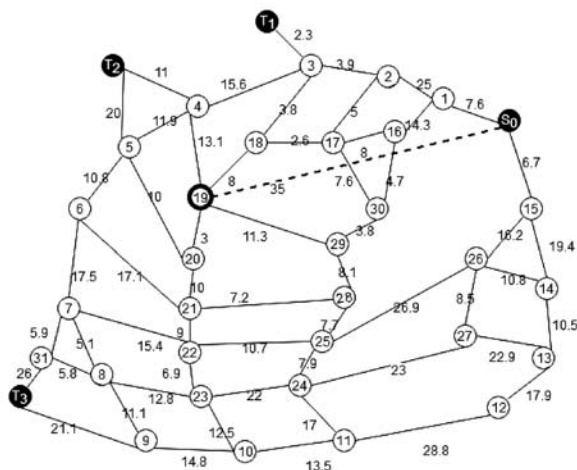


图 1 考虑地下集装箱运输的初始网络图

目前地下集装箱系统线路设计为始于外高桥二期,经张华浜码头,进入嘉定西北物流园,即将原先由公路集疏运各道路进入港口、穿越中心城区的货物首先集中在嘉定区的物流综合枢纽,再通过专用的货运通道转运至港口。设计外高桥港-嘉定区的地下运输线路长度为 35 km,时速参考地下轨道 80 km/h,日运量达 2 万 TEU。图中节点 19(设为嘉定西北物流园)为地下集装箱系统的起点。

另地下集装箱运输尚处于理论研究阶段,单位运输费用参考现有公路运输价格,且地下运输工具采用电力设备驱动,碳排放量几乎为零。中转时间和中转费用参考岸桥的工作效率。

地下集装箱运输系统与高速公路的设计参数,如表 1 所示。

1

参数设计	单位运费 / (元 · km ⁻¹)	行驶速度 (/km · h ⁻¹)	CO ₂ 排放量 (/kg · km ⁻¹)	单位中转时间/h	单位中转费用/元
高速公路	6	80	0.047 95	0	0
地下运输	6	80	0.000 01	0.3	25

3.2

3.2.1

在 MATLAB 中编写 k 最短路径算法进行仿真,分别搜索地下集装箱运输系统建造前后的 k 最短路径。

地下集装箱运输建造前:

① 常熟方向(S_0, T_1)

第一条最短路径 $l_{11} = (S_0, 1, 16, 17, 18, 3, T_1) = 38.6$ km。

第二条最短路径 $l_{12} = (S_0, 1, 2, 3, T_1) = 38.8$ km。

第三条最短路径 $l_{13} = (S_0, 1, 16, 17, 2, 3, T_1) =$

41.1 km。

② 苏州方向(S_0, T_2)

第一条最短路径 $l_{21} = (S_0, 1, 16, 17, 18, 3, 4, T_2) = 63.9$ km。

第二条最短路径 $l_{22} = (S_0, 1, 2, 3, 4, T_2) = 65.1$ km。

第三条最短路径 $l_{23} = (S_0, 1, 16, 17, 18, 19, 4, T_2) = 67.6$ km。

③ 嘉兴方向(S_0, T_3)

第一条最短路径 $l_{31} = (S_0, 1, 16, 30, 29, 28, 21, 22, 7, 31, T_3) = 112$ km。

第二条最短路径 $l_{32} = (S_0, 1, 16, 30, 29, 28, 25, 22, 7, 31, T_3) = 114.2$ km。

第三条最短路径 $l_{33} = (S_0, 1, 16, 30, 29, 28, 21, 22, 23, 8, 31, T_3) = 116.2$ km。

地下集装箱运输建造后:

① 常熟方向(S_0, T_1)

第一条最短路径 $l_{11} = (S_0, 1, 16, 17, 18, 3, T_1) = 38.6$ km。

第二条最短路径 $l_{12} = (S_0, 1, 2, 3, T_1) = 38.8$ km。

第三条最短路径 $l_{13} = (S_0, 1, 16, 17, 2, 3, T_1) = 41.1$ km。

② 苏州方向(S_0, T_2)

第一条最短路径 $l'_{21} = (S_0, 19, 4, T_2) = 59.1$ km。

第二条最短路径 $l_{21} = (S_0, 1, 16, 17, 18, 3, 4, T_2) = 63.9$ km。

第三条最短路径 $l_{22} = (S_0, 1, 2, 3, 4, T_2) = 65.1$ km。

③ 嘉兴方向(S_0, T_3)

第一条最短路径 $l'_{31} = (S_0, 19, 20, 21, 22, 7, 31, T_3) = 102$ km。

第二条最短路径 $l_{31} = (S_0, 1, 16, 30, 29, 28, 21, 22, 7, 31, T_3) = 112$ km。

第三条最短路径 $l_{32} = (S_0, 1, 16, 30, 29, 28, 25, 22, 7, 31, T_3) = 114.2$ km。

3.2.2

引入非直线系数优化路径选择结果,这样选出的线路不一定是最短路径,但一定是最便捷的线路。将非直线系数最接近1的最短路径作为最终路径,逐一以上每对起终点进行优化。则有:

地下集装箱运输系统运营前:常熟方向最短路径为 $l_{11}(S_0, 1, 16, 17, 18, 3, T_1)$;苏州方向最短路径为 $l_{21}(S_0, 1, 2, 3, 4, T_2)$;嘉兴方向最短路径为 $l_{31}(S_0, 1, 16, 30, 29, 28, 21, 22, 23, 8, 31, T_3)$ 。

地下集装箱运输系统运营后:常熟方向最短路径

为 $l_{11}(S_0, 1, 16, 17, 18, 3, T_1)$;苏州方向最短路径为 $l'_{21}(S_0, 19, 4, T_2)$;嘉兴方向最短路径为 $l'_{31}(S_0, 19, 20, 21, 22, 7, 31, T_3)$ 。

由此看到,在地下集装箱运输系统建造前,运往江浙及上海市内的集装箱货物几乎都要经过外环高速宝山-嘉定段和绕城高速宝山-嘉定段,与实际相符,该段的运输压力巨大,交通高峰时刻可能会产生严重拥堵。而地下集装箱运输系统投入运营后,可分流苏州方向和嘉兴方向的货运量,且线路分别缩短4.8、10 km,线路较为顺平,为运往上海市内的集装箱车辆节约了时间。

3.3

由此可以得到地下集装箱运输系统建成后,外高桥港陆向集疏运网络的变化,见表2。

2

评价指标	单位运输费用/元		单位运输时间/h		单位碳排放量/kg	
	地下运输建造前	地下运输建造后	地下运输建造前	地下运输建造后	地下运输建造前	地下运输建造后
常熟方向	231.6	231.6	0.48	0.48	1.85	1.85
苏州方向	383.4	354.6	0.8	0.74	3.06	2.83
嘉兴方向	672	612	1.4	1.27	5.37	4.89

对比发现,地下集装箱运输系统建成后,苏州方向单位集装箱单向运输费用降低28.8元/TEU,单向碳排放量降低0.23 kg/TEU,嘉兴方向单位集装箱单向运输费用降低60元/TEU,单向碳排放量降低0.48 kg/TEU。

随着经济的飞速发展,港口集装箱吞吐量和腹地集装箱需求量也在稳步上升,本文以2004年-2016年外高桥港集装箱吞吐量为训练数据,利用灰色预测法在预测2026年的外高桥港集装箱吞吐量,并在MATLAB中做仿真。灰色预测法有使用少量数据拟合现实的优势,并且适宜做短中期预测。模型后残差检验 $c = 0.3104 < 0.35$,模型精度等级为1,拟合良好,预测值具有参考价值。预测结果如图2所示。

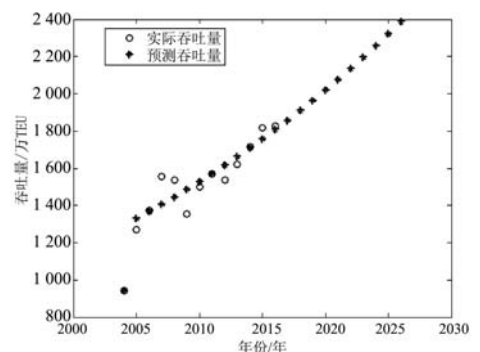


图2 外高桥港吞吐量预测

到2026年,外高桥港口集装箱吞吐量可能会突破2400万TEU,外高桥港的陆向集疏运势必会更加紧张。有历史数据知,来往江浙及上海市内的集装箱量约占外高桥港集装箱吞吐量的47%。本文假设地下集装箱运输线路可承运外高桥港集装箱吞吐量的30%。那么,随着地下集装箱运输系统的运营,承运人每年可节省运输费用31968万元,同时,碳排放量可减少2566吨。

4

通过建设地下集装箱运输系统,有效地改善外高桥港口来往江浙及上海市内方向的路径选择。集装箱运输时间的运输时间缩短,同时承运人的运输费用降低,这也是地下集装箱运输的一大优势。与此同时,地下集装箱运输符合国家十三五规划的“便捷高效、智能智慧、绿色低碳的综合运输服务系统”。

从城市可持续发展的角度看,地下集装箱运输系统是解决城市港口拥堵和空气污染的新型手段,提高港口地区的运输效率,使城市的集疏运体系得到改善。因此,在未来时期,城市地下集装箱运输系统应具有广阔的发展前景。本文从理论方面考虑了地下集装箱运输系统对城市集疏运体系的影响,关于地下集装箱运输的仿真实验将是作者的下一步研究。

- [1] 俞明健. 城市货运交通问题与城市地下物流[J]. 交通与运输, 2017, 33(3): 1-3.
- [2] 郭东军, 谢金荣, 陈志龙, 等. 地下集装箱运输系统研究的深层动因及趋势[J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8(2): 229-235.
- [3] Stein D, Schoesser B. CargoCap: Feasibility study of transporting containers through underground pipelines[C]//The 4th International Symposium on Underground Logistics, 2005.
- [4] Wiegmans B W, Visser J, Konings R, et al. Review of underground logistic systems in the Netherlands: An ex-post evaluation of barriers, enablers and spin-offs[J]. European Transportstrategie, 2010, 45(45): 34-49.
- [5] Fairs R. The Virtual Seaport[C]//Proceedings of 12th International Conference of the Associated Research Centers for Urban Underground Space(ACUUS2009). 2009.
- [6] Liu Henry, 崔建强, 林冬, 等. 纽约市地下物流可行性研究及对世界其他主要城市的启示[J]. 现代交通技术, 2008, 5(4): 86-92.
- [7] 范益群, 钱七虎. 基于地下集装箱运输的城市地下环境物流系统建设[J]. 科技导报, 2011, 29(7): 31-35.

- [8] 闫文涛, 覃燕红. 地下物流节点选址的双层规划模型及算法研究[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(4): 870-874.
- [9] 李彤, 王众托. 大型城市地下物流网络优化布局的模拟植物生长算法[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(4): 971-980.
- [10] 周婷, 周爱莲. 基于时间成本的地下物流配送路线优化模型[J]. 物流工程与管理, 2016, 38(8): 60-62.
- [11] 冯树民, 高贺, 郭彩香. 城市道路网结构形式的评价[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(10): 1610-1613.
- [12] 胡军红, 过秀成, 陶涛, 等. 基于k最短路径的现代有轨电车线网优化[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2017(6): 1274-1278.

66

- [8] Dai J P, Teng J, Bai X L, et al. Mobile phone based drunk drivin detection[C]//4th International ICST Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare. nich, Germany, 2010: 1-8.
- [9] 潘景昌, 钱西成, 张波, 等. 基于智能手机传感器应用系统架构的研究[C]//中国地球物理学会信息技术专业委员会.“地球物理信息技术与人工智能应用”研究论坛论文摘要集. 2017: 10.
- [10] Xu L, Li S, Bian K, et al. Sober-Drive: A smartphone-assisted drowsy driving detection system[C]//2014 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC). IEEE, 2014.
- [11] 张泽星, 宗长富, 马福良, 等. 基于多维高斯隐马尔科夫模型的驾驶员转向行为辨识方法[J]. 汽车技术, 2011(7): 1-3.
- [12] 任静文. 基于智能手机终端的驾驶行为风格检测[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [13] 周后飞, 刘华平, 石红星. 智能手机车辆异常驾驶行为检测方法[J]. 智能系统学报, 2016, 11(03): 410-417.
- [14] 周后飞. 基于移动终端的异常驾驶行为及碰撞事故识别技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
- [15] 祝俐菱, 刘澜, 赵新朋, 等. 基于支持向量机的车辆驾驶行为识别研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2017, 17(1): 91-97.
- [16] 赵宏, 郭立录. 手机内置加速度传感器数据的空间坐标转换算法[J]. 计算机应用, 2016, 36(2): 301-306.
- [17] He K, Zhang X, Ren S, et al. Delving deep into rectifiers: surpassing human-level performance on imagenet classification[C]//2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). IEEE, 2015: 1026-1034.
- [18] Wen Y, Zhang K, Li Z, et al. A discriminative feature learning approach for deep face recognition[M]//Computer Vision-ECCV 2016. Springer International Publishing, 2016.