

基于多目标决策的综合运输通道组合运能优化

李艳红,袁振洲,陈静云,田 梦

(北京交通大学 交通运输学院,北京 100044)

摘要:首先提出了综合运输通道组合运能的定义及综合运输通道组合运能多目标决策模糊优化模型。接着从运输效率、运输质量和服务水平3个优化目标入手,给出了7项具体评价指标,并运用TransCAD软件得出3种不同的可行方案。最后应用提出的模型对3个可行方案进行了评价分析。研究结果为综合运输资源的优化配置提供理论依据和实践指导。

关键词:交通运输系统工程;运输通道;组合运能;多目标决策;优化

中图分类号:U491.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2009)06-1480-06

Combined capacity optimization of comprehensive transportation corridor based on multi-objective decision making

LI Yan-hong, YUAN Zhen-zhou, CHEN Jing-yun, TIAN Meng

(School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The comprehensive transportation corridor (CTC) is the backbone of the regional traffic and transportation system. In the paper the combined capacity of CTC was defined and a fuzzy optimization model of the multi-objective decision-making for the CTC combined capacity was proposed. Taking the transportation efficiency, transportation quality and the service level as 3 optimization targets, defining the 7 specific evaluation indexes, 3 feasible schemes were obtained by TransCAD software, and evaluated by the proposed optimization model. The results provide a theoretical formation and practical direction for the optimal allocation of the comprehensive transportation resources.

Key words: engineering of communication and transportation system; comprehensive transport corridor; combined capacity; multi-objective decision making; optimization

运输通道是在一定的地域中连接着主要的交通源,承载着共同方向交通流的长条地带。一般是由若干条平行的不同运输方式线路共同组成,运能强大,并能适应多种运输需求。组合运能是指综合运输系统在运输效率、运输质量和服务

水平等方面均达到理想要求下的运输供给。

文献[1]基于综合运输通道内用户出行需求和供应特点,从用户效应出发对综合运输通道结构进行了界定;文献[2]提出用最大熵原理构建客运结构配置模型;文献[3]运用城市交通分配网络

收稿日期:2008-01-31.

基金项目:“863”国家高技术研究发展计划项目(2006AA11Z201);国家自然科学基金项目(50778016).

作者简介:李艳红(1981-),女,博士研究生.研究方向:综合运输系统,城市交通规划与管理.

E-mail:lisa813328@163.com

通信作者:袁振洲(1966-),男,教授,博士生导师.研究方向:物流工程,交通运输规划与管理,智能交通系统(ITS).

E-mail:yuanzhenzhou@jtys.bjtu.edu.cn

均衡思想,提出基于网络的区域运输通道多交通模式客流分配模型。可以看出,已有的研究,或是从单目标最优化角度研究运输通道的结构优化,或是从不同交通方式运输结构配置方面研究综合运输通道的资源优化。而本文基于综合运输通道内各种交通方式的运输效率、运输质量和服务水平3个目标研究通道内组合运能的优化。在定义了运输能力利用效率、单位运能耗时、单位运能的运输成本、单位运能的社会成本(能源、土地资源占用情况)、单位运能环境污染损害成本、与需求的适应程度等指标及其内涵的基础上,构建了基于上述指标的多目标决策模型,给出了模型的求解算法,并进行了案例分析,验证了指标、模型和算法的合理性与可行性。研究结果既有助于了解现状及未来各运输方式对运输需求的适应情况,又可为政府制定合理的通道运输政策提供重要理论依据。

1 综合运输通道组合运能优化模型

1.1 基础数据

通道内各起讫点之间不同交通方式的运行时间、费用以及各交通方式的运输能力等数据,同时可能还需要了解通道内各区域的社会经济状况,如GDP、人口、人均收入等数据。

1.2 模糊优化模型

设可行方案数为 n ,方案集为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$

1.2.1 目标值的确定

(1)定量目标。设目标数为 m ,其目标值矩阵为 $\mathbf{X} = (\mathbf{X}_{ij})_{m \times n}$ 。其中, \mathbf{X}_{ij} 是方案 j ($j=1, 2, \dots, n$)的第 i ($i=1, 2, \dots, m$)个定量目标值。

(2)定性目标。通过语言描述,且分成不同的等级。不同等级的目标数 \mathbf{X}_{ij} 可以用 $0 \sim 1$ 之间的模糊数来表示。

1.2.2 归一化

为了使不同类型、不同量纲的目标具有可比性,需要对目标进行归一化处理。对于定量目标,效益型(目标值越大越好)和成本型(目标值越小越好)分别用式(1)和式(2)进行归一化处理,对于定性目标,其归一化处理计算式与效益型定量目标计算式相同。设经过归一化处理后的隶属度矩阵为 $\mathbf{R} = (r_{ij})_{m \times n}$ 。

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad 0 \leq r_{ij} \leq 1 \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad 0 \leq r_{ij} \leq 1 \quad (2)$$

式中: $x_{\max} = \max_{j=1}^n x_{ij}$; $x_{\min} = \min_{j=1}^n x_{ij}$ 。

1.2.3 设置极端方案

有限方案的多目标决策问题,方案的排序是一个相对概念。定义极端优方案集为 \mathbf{E} ,极端劣方案集为 \mathbf{B} ,则:

$$\mathbf{E} = (e_1, e_1, \dots, e_m), \mathbf{B} = (b_1, b_1, \dots, b_m)$$

式中: $e_i = \bigvee_{j=1}^n x_{ij}$; $b_i = \bigwedge_{j=1}^n x_{ij}$; $i=1, \dots, m$ 。

在对各指标进行归一化处理之后,显然, $\mathbf{E} = (1, 1, \dots, 1)_{1 \times m}$, $\mathbf{B} = (0, 0, \dots, 0)_{1 \times m}$ 。

由于各目标之间可能存在冲突,方案 \mathbf{E} 和 \mathbf{B} 通常是不存在的。本文方案优选的思路是:选择的满意方案 \mathbf{A}_j 要尽可能接近 \mathbf{E} 而远离 \mathbf{B} 。

1.2.4 各目标权重的确定

本文应用层次分析法确定各目标权重,其步骤是:①问卷设计与调查;②建立判断矩阵;③计算优先向量及最大特征值;④进行一致性鉴定;⑤各权重计算。

1.2.5 方案的相对优属度

设方案 \mathbf{A}_j 隶属于 \mathbf{E} 的相对隶属度为 u_j ,则对 \mathbf{B} 的相对隶属度为 $1 - u_j$,可得 \mathbf{A}_j 的相对隶属度为

$$u_j = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m [\omega_i (e_i - r_{ij})]^2}{\sum_{i=1}^m [\omega_i (r_{ij} - b_i)]^2} \right]^{-1} \quad (3)$$

式中: ω_i 是 i 的权重($i=1, 2, \dots, m$); $j=1, 2, \dots, n$ 。

1.2.6 方案排序

根据优属度 u_j 排序, u_j 大的,方案 \mathbf{A}_j 排在前面。对运输通道而言,由于通道网络的简单性,可将交通分配与方式划分两者结合起来实现组合运能的优化,故可将通道内不同运输方式的路网合并在一起,然后在综合路网上根据不同交通分配算法得出不同分配结果,即是本文所讨论的方案。

2 综合运输通道组合运能优化目标

2.1 运输效率目标

交通运输效率水平的高低是衡量一个通道交通运输发展水平的重要依据。而交通运输效率指运输活动中所消耗的劳动量与所获得的劳动效果的比率,即要素投入与有效产出之比。同时,交通

运输效率又可分为运输系统配置效率、运输工具技术经济效率和运输组织效率^[4],而本文研究的是运输系统配置效率。论文主要选取通道内铁路、公路和民航三种运输方式的加权运能利用率指标来反映,其定义如下:

$$z_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \frac{x_{ij}^k}{C_{ij}^k} p_k \quad (4)$$

式中: x_{ij}^k 为通道内从起点*i*到终点*j*之间第*k*种交通方式的运量; C_{ij}^k 为通道内从起点*i*到终点*j*之间第*k*种交通方式的线路容量; p_k 为第*k*种交通方式的客货运量占全部交通方式客货运量的比例; K 为通道内共有*K*种交通方式。

2.2 运输质量目标

根据 ISO9002 中对质量的定义,交通运输质量可以定义为:“反映交通运输业满足明确或隐含需要能力的特征和特性的总和。”本文中采用的描述运输质量的指标包括单位运能的耗时指标、运输成本指标、环境费用指标和社会成本指标 4 项,其定义分别如下:

(1)单位运能耗时指标 z_{21}

$$z_{21} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K t_{ij}^k \cdot x_{ij}^k}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ij}^k} \quad (5)$$

式中: t_{ij}^k 为从起点*i*到终点*j*之间第*k*种交通方式的运行时间。

(2)单位运能运输成本指标 z_{22}

$$z_{22} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ij}^k \cdot c_{ij}^k}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ij}^k} \quad (6)$$

式中: c_{ij}^k 为从起点*i*到终点*j*之间第*k*种交通方式的单位运费。

(3)单位运能环境污染损害成本指标 z_{23}

综合运输业对环境的影响主要是污染物的排放和对生态平衡的影响。各种交通运输方式的排放强度不同,从客运(人公里)造成的污染强度来看^[5-7],公路运输是航空运输的 1~2 倍,是铁路运输的 10 倍左右;货运(吨公里)造成的污染强度,公路是铁路的 10 倍,且货运造成的污染强度超过客运的污染强度。不论是公路还是铁路,每吨公里产生的污染是每人公里产生的污染的 1~2 倍。本文将铁路、公路及航空的单位运能环境污染损害成本用模糊数来描述,分别为:0.0625,0.625,0.3125。

(4)各方案的单位运能社会成本指标 z_{24}

社会成本包括能源消耗和土地占用两部分,分别描述如下:

1)单位运能的能源消耗指标 z_{241}

单位运能的能源消耗为各种运输方式运能运营成本及节能、环保的衡量指标之一。公路运输中的主要能源消耗是柴油和汽油,铁路运输中则主要是柴油和电力。在能源消耗方面,等量运输下铁路、公路和航空的油耗量之比为 1 : 9.3 : 18.6^[5-7]。本文将铁路、公路及航空的能源消耗成本用模糊数来表示,分别为 0.03,0.32,0.64。

2)单位运能的土地资源消耗指标 z_{242}

土地资源消耗(占地)直接影响项目的建设成本,关系到项目对自然资源的占用,以及对生态环境的影响。考虑到水运是利用现有水域进行运输,而航空运输除了机场配套设施外不需占地等特点,在资源消耗指标上与公路、铁路不具有可比性,因此选取公路与铁路进行对比。按单位货运能力计算的公路用地为铁路的 1.76~2.54 倍^[5-7]。本文将通道内铁路、公路及航空的资源消耗成本用模糊数描述,分别为 0.34,0.65,0.01。

2.3 服务水平目标

综合运输通道服务水平主要通过道路网络饱和度和、与用户需求的适应程度等指标来体现,而与用户需求的适应程度又可表示为客流结构特征和收入特征两个重要参数,具体描述如下。

(1)网络饱和度

网络饱和度反映交通运输网络的能力及适应需求的程度,也反映出交通运输网络的拥挤程度。饱和程度等于交通运输网络上的实际交通量与设计容量的比值,其计算公式如下

$$z_{31} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \frac{x_{ij}^k}{C_{ij}^k} \quad (7)$$

(2)客流结构特征

综合运输通道内无论是长期跨区就业客流还是短期旅行客流都存在一个层次结构问题。这种需求层次结构在很大程度上决定运输系统的结构配置。据统计^[8],从出行目的看,京沪通道内公务流比例最高,其次为旅游、探亲、务工和经商流;从客流构成看,公务出差比例比因私出行稍低一点,而对服务要求较高的出差、旅游、经商等客流占有很大的比重。研究客流结构特征的重要性在于不同层次的客流需求需要不同层次的运输供给与之相匹配,才能实现系统的均衡配置。

(3)旅客收入特征

旅客收入特征是研究不同收入阶层的旅客对出行方式选择偏好的重要参数,并可进一步分析和预测人民生活水平的提高对未来交通出行结构的影响。调查结果表明^[8],京沪通道内旅客收入在 500~1000 元和 1000~1500 元所占比重最大,其他层次收入人员的比例基本相当。不同收入水平旅客的消费能力和对服务水平的需求也不尽相同,他们通常在所能承受的票价范围内选择更为

方便快捷的出行方式。

3 实例分析

3.1 京沪通道各运输方式的技术参数

在京沪通道内,目前有铁路(HSR)、公路(CR)、航空(AR)3种运输方式提供客运服务,其中铁路又分为动车(D)、特快(T)和快速(K)三种。通道内有北京、天津、济南、南京和上海5座城市,各运输方式的基础技术参数见表1。

表 1 京沪通道各运输方式的技术参数

Table 1 Parameters of Beijing-Shanghai corridor

	交通方式	运输通道				
		北京-天津	北京-济南	北京-南京	北京-上海	天津-济南
行程时间/min	AR	N	50	120	150	N
	CR	180	380	840	900	360
	HSR-D	70	210	N	600	N
	HSR-T	90	280	690	780	200
	HSR-K	150	400	900	N	260
票价/元	AR	N	320	800	700	N
	CR	35	115	200	900	91
	HSR-D	51	170	N	500	N
	HSR-T	30	110	250	300	85
	HSR-K	19	90	150	N	70
运输能力/(人·d ⁻¹)	AR	N	1100	800	4500	N
	CR	3500	1300	200	250	500
	HSR-D	17000	2300	N	16000	N
	HSR-T	12000	3500	2500	N	1500
	HSR-K	3000	5000	2500	N	2500
出行总需求/(人·d ⁻¹)		35000	8200	5800	1 6400	5800

	交通方式	运输通道				
		天津-南京	天津-上海	济南-南京	济南-上海	南京-上海
行程时间/min	AR	100	110	60	85	N
	CR	N	N	500	660	250
	HSR-D	N	N	N	N	N
	HSR-T	600	210	420	550	190
	HSR-K	720	260	540	720	260
票价/元	AR	600	700	450	600	N
	CR	N	N	180	200	80
	HSR-D	N	N	N	N	N
	HSR-T	230	130	135	180	55
	HSR-K	250	150	110	130	45
运输能力/(人·d ⁻¹)	AR	600	850	600	1100	N
	CR	N	N	200	450	1300
	HSR-D	N	N	N	N	N
	HSR-T	1000	1200	1800	1500	2500
	HSR-K	2000	2000	2000	2000	1000
出行总需求/(人·d ⁻¹)		3500	4700	3500	4700	49 000

3.2 计算可行方案

应用交通规划软件 TransCAD 建立京沪通道路网模型,针对已有 10 个 OD 对,分别应用用户平衡、随机用户平衡和系统最优 3 种方法进行交通分配,得出 3 种不同的可行方案,结果见表 2。

3.3 各方案优属度计算及分析

按照本文第 1 部分中多目标决策模糊优化模型的计算步骤,同时依据第 2 部分中对于目标函数的定义,依次对上述基础数据及分配方案进行归一化处理,利用 MATLAB 软件计算相对隶属

度矩阵。利用层次分析法确定各目标权重为

$$W = [0.8920, 0.0415, 0.0509, 0.0141, 0.0677, 0.0098, 0.3540]^T$$

最后计算得到三种方案的优属度如下表 3。

对京沪通道内任意两座城市之间的综合运输

通道,依照最优方案,得出各种交通方式的客运市场份额(见图 1)。

从表 3、图 1 可以得出如下结论:

(1)在只有公路、铁路存在的短距离(小于 500 km)运输通道内,如本例中的北京-天津、北京-济

表 2 3 种可行方案

Table 2 Three feasible measures

	交通方式	运输通道				
		北京-天津	北京-济南	北京-南京	北京-上海	天津-济南
用户平衡	AR	0	20	0	4279	0
	CR	0	0	161	0	0
	HSR-D	19626	10	0	5799	0
	HSR-T	15373	8160	3129	6321	2081
	HSR-K	0	5	2508	0	3718
随机用户平衡	AR	0	0	610	4316	0
	CR	1 842	1294	305	0	610
	HSR-D	16578	0	0	5 179	0
	HSR-T	12894	2157	2442	6905	1831
	HSR-K	3684	4747	2442	0	3357
系统最优	AR	0	2634	775	830	0
	CR	2771	0	72	0	499
	HSR-D	16926	2100	0	5866	0
	HSR-T	11901	3464	2480	9703	2799
	HSR-K	3370	0	2 471	0	2500

	交通方式	运输通道				
		天津-南京	天津-上海	济南-南京	济南-上海	南京-上海
用户平衡	AR	0	914	0	0	0
	CR	0	0	0	0	1272
	HSR-D	0	0	0	0	0
	HSR-T	0	1136	3500	0	2452
	HSR-K	3500	2648	0	4700	974
随机用户平衡	AR	552	1236	736	742	0
	CR	0	0	184	494	1236
	HSR-D	0	0	0	0	0
	HSR-T	921	1484	737	1484	2473
	HSR-K	2026	1978	1842	1978	989
系统最优	AR	0	1215	1052	990	0
	CR	0	0	92	310	0
	HSR-D	983	0	0	0	2445
	HSR-T	1963	1496	365	1458	981
	HSR-K	553	1987	1989	1940	1273

表 3 京沪通道各 OD 对不同方案的优属度

Table 3 OD pair membership degree of different measures in Beijing-Shanghai corridor

运输通道	区间长度/km	用户平衡方法	随机用户平衡方法	系统最优方法
北京-天津	137	0.2716	0.8872	0.8930
北京-济南	495	0.3951	0.3030	0.0689
北京-南京	1162	0.6586	0.8128	0.1852
北京-上海	1463	0.007	0.008	0.0478
天津-济南	357	0.6042	0.9239	0.9456
天津-南京	1024	0.0829	0.0428	0.0492
天津-上海	1325	0.1714	0.1505	0.1567
济南-南京	667	0.1570	0.1377	0.0141
济南-上海	968	0.4052	0.6324	0.3482
南京-上海	301	0.5563	0.5538	0.8895

南、天津-济南、济南-南京、南京-上海,要实现通道组合运能的最优配置,则公路客运合理的市场份额在10%左右,相应的铁路客运合理市场份额在90%左右;同时,在有客运专线的通道内,高速铁路客运占整个铁路客运的40%左右。可见,在短距离运输通道内,要满足乘客高效率、高质量、高服务水平的需求,大力发展城际客运专线将是大势所趋。

(2)在公路、常规铁路和航空三种运输方式均存在的中长距离(大于500 km)运输通道中,如本例中的北京-南京、北京-上海、天津-南京、天津-上海,要实现通道组合运能的优化配置,铁路、公路、航空三种运输方式的市场份额比例约为80%:5%:15%。根据通道实际需求或预测的总需求,决策者就可以有针对性地配置相应的交通基础设施或交通工具的数量,从而实现通道运输能力的优化。

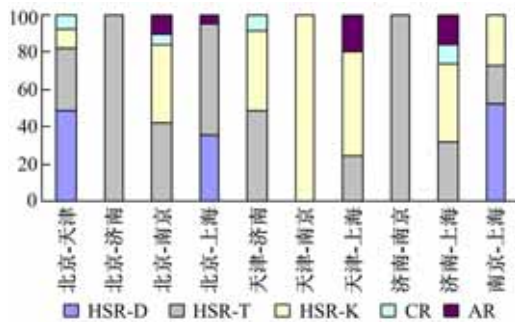


图1 不同交通方式的客运市场份额

Fig. 1 Passenger volume share of different modes

4 结束语

从运输效率、运输质量和服务水平三个方面构建了综合运输通道组合运能优化的7个具体评价指标,在利用现有的3种主要交通分配算法基础上得到3个可行方案,接着采用多目标决策模糊优化模型对京沪综合运输通道组合运能进行优化配置研究,最终得出本文的结论。该研究结论既可以指导通道内综合运输资源的优化配置,有助于了解现状及未来各运输方式对运输需求的适应情况,制定合理的运力投放策略;又可以为政府制定合理的通道运输政策,引导各运输方式适度竞争、高度协作提供重要的理论依据。

参考文献:

[1] 李德刚,罗霞. 基于用户的综合运输通道结构配置

[J]. 西南交通大学学报,2005,40(2):249-253.

Li De-gang, Luo Xia. User-based structure configuration of comprehensive transportation corridor [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2005, 40 (2):249-253.

[2] 邱玉琢,陈森发. 综合运输通道客运结构配置的随机饱和熵模型[J]. 交通运输工程学报,2007,7(2):104-108.

Qiu Yu-zhuo, Chen Sen-fa. Stochastic saturation entropy model of passenger transportation structure configuration for comprehensive transportation corridor [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(2):104-108.

[3] 李友好,刘晓佳,施其洲. 基于网络的运输通道客流量分配模型[J]. 交通运输工程与信息学报,2005,3(2):57-62.

Li You-hao, Liu Xiao-jia, Shi Qi-zhou. Trip assignment model for transportation corridor based on network equilibrium [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2005, 3(2):57-62.

[4] 吴文化. 中国交通运输效率评价体系研究分析[J]. 综合运输,2001,2(4):37-39.

Wu Wen-hua. Research and analysis of efficiency evaluation system of traffic and transportation in china [J]. Comprehensive Transportation, 2001, 2(4):37-39.

[5] 张力,李群仁. 几种重要运输方式的外部成本计算分析[J]. 铁道运输与经济,2000,22(1):36-38.

Zhang Li, Li Qun-ren. Calculating and analyzing the exterior cost of several main modes [J]. Railway Transport and Economy, 2000, 22(1):36-38.

[6] 高田润,柳苇. 铁路运输与其他运输方式环境负荷的对比分析[J]. 国外内燃机车,2003,37(4):27-31.

Gao Tian-run, Liu Wei. Comparative analysis of environmental load between rail transport and other modes [J]. Foreign Diesel Locomotive, 2003, 37(4):27-31.

[7] Li L S, Lai K K. A fuzzy approach to the multiobjective transportation problem [J]. Computers and Operations Research, 2000, 27(1):43-57.

[8] 南敬林. 京沪通道旅客行为时间价值研究[J]. 铁道经济研究,2002,3:36-38.

Nan Jing-lin. Study on time value of passenger behavior about beijing-shanghai corridor [J]. Economical Research of Rail Way Transport, 2002, 3:36-38.