

文章编号:1005-0523(2011)04-0112-05

城际铁路票额随机分配优化

曲思源^{1,2}, 徐行方²

(1. 上海铁路局调度所, 上海 200071; 2. 同济大学交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要:票额分配是实现城际铁路效益最大化以及调整和优化列车开行方案的基本依据之一,同时也是适应城际客流需求的重要手段之一。在分析实际分配方法和确定式的整数分配票额模型难以适应城际客流需求的基础上,提出以实际客流情况为依据的弹性票额分配方法,将实际乘车客流量视为不确定因素即将其视为正态分布,建立随机整数规划模型并采取转化为确定性等价方法进行求解,使得整个列车票额收益最大化。以沪宁城际高速铁路高峰时段某列车为例得到验证。票额随机分配模型将为城际铁路票额分配提供新的思路和方法。

关键词:城际铁路;票额分配;随机优化

中图分类号:U293.1

文献标识码:A

城际铁路是指经济发达、人口稠密的城市群内各城市之间或城市与卫星城市之间的高速铁路。采用动车组列车作为运载工具实现公交化运营模式是城际铁路运输组织的重要特征。票额分配是实现城际铁路效益最大化以及调整和优化列车开行方案的基本依据之一,同时也是适应城际客流需求的重要手段之一。城际铁路票额分配是一项复杂而细致的工作,是以列车运行图为基础,以旅客列车开行方向客流分布为依据,根据列车编组、停站时刻等数据,计算动车组列车在经由停靠站一、二等座票额的分配以及各种指标的计算和统计,其实质是运能和客流的分配,也是组织均衡运输缓和供求矛盾的一个重要方法。文献[1]指出,经过多年的客流分析发现任一固定票额分配方法都无法满足动态的客流市场;文献[2]进一步阐述客流在时间和空间上是动态变化的,有必要在日常票额分配的基础上再辅以动态调整,从而使票额分配完全适应客流市场的变化;文献[3]认为,制定票额分配计划的主要依据是铁路旅客集体乘车选择行为,并将集体选择行为通过基于客车开行方案的换乘网络上的用户平衡态来描述;文献[4]对票额分配模型进行了相关探讨,建立起确定性的考虑票额分配具有下限的数学模型;文献[5]进一步结合城际动车组列车建立起整数规划模型,并结合某次列车进行了确定性票额分配的实例分析。本文在借鉴已有成果的基础上,坚持以市场为导向,以实际客流情况为依据,提出弹性票额分配方法,将实际乘车客流量视为不确定因素即服从正态分布,建立随机整数规划模型并采取转化为确定性等价方法进行求解,使得整个列车票额收益最大化,以便为调整和优化列车开行方案提供依据。

1 城际铁路客流分布

城际客流可归纳为中心城市间客流和沿线城镇客流^[6-7]。

1) 中心城市间客流。起止点 OD 一般均为客流较大的中心城市,两中心城市之间的客流占据较大部分,其主要特征主要体现在:① 服务层次高,主要以商务、公务客流为主,具有出行规律明显、聚集时间短、流量变化快、出行频率高等特点;② 运输时效性强,对交通出行的时间性、安全性、快速性、舒适性要求较

收稿日期:2011-03-07

作者简介:曲思源(1972—),男,高级工程师,博士研究生,从事交通规划与管理研究。

高、对票价承受能力强等特征,比较关注列车的始发、终到时刻和舒适性、方便性,这部分客流出行具有明显的时段性,每日出行高峰时间一般在8:00~10:00和16:00~18:00。

2) 沿线城镇客流。沿线地区经济较发达、人口规模大,与外界交往密切,客流集中,在较大的客流集散点设有车站,这部分客流由于旅行时间短,对旅行时间、舒适性要求较低,而对提供的出行机会较为关注,对便捷性和经济性等方面有较高要求,这部分客流呈现节假日、黄金周、暑期客流增大等特征。

2 现有票额分配方法适应性分析

目前在铁路实际工作中,城际铁路的票额分配一般是在考虑两种客流分配的基础上,主要是在历史分配数量和实际客流情况并结合短期客流预测来进行,并考虑地区经济发展,估计市场客流的变化趋势,从有利于充分利用列车运能、增加铁路运输收入的角度出发合理编制和实施。其与实际客流需求的适应性主要体现在以下3个方面。

1) 在实际操作中,往往以客票发售的客流量历史数据代替客运需求,这样的结果经常造成各次列车上座率不一,部分车次满员甚至超载,部分车次旅客虚靡。城际客流特点是出行规律明显、聚集时间短、流量变化快,传统固定的票额分配方式具有一定的刚性,缺乏弹性,在应对客票需求波动幅度比较大的情况时,运能的浪费问题更加突出。

2) 短期客流预测的准确性一直是难点。从某种程度上讲,各种旅客需求预测模型都有其缺陷,即采取客流预测技术和方法预测客流量,基本上是按照数学模型的方法,因为各个城际铁路受经济地域等环境影响,旅客出行也就不同,通用的预测方法必须与所研究的城际铁路相结合才能获得适应的预测结果,此项工作难度较大。因此,计算结果很难适应城际铁路客流变化的特点。

3) 现有客票销售信息系统PMIS5.0,目前城际动车组列车客票预售20天,旅客购票通常采取车站窗口、代售点购票及电话订票方式,基本实现“一窗有票、窗窗有票”,而且实现了票额共用和复用,但每趟动车组列车下达的票额计划基本相似,很难考虑实际客流变化情况。也就相当于采取了固定票额分配的方式来分配客流,没有体现各次列车开行因时间段不同体现出的旅客需求个性化,旅客在提供的各次列车中选择乘坐的车次,难以体现“以人为本”的客流需求。

因此,如何结合城际客流特点采取动态票额分配方法,满足旅客的出行需求,提高列车各区段的上座率,并使其具有适应能力,有效减少不同车次的列车拥挤或虚靡现象,充分利用不可储存的铁路运能资源,实现城际列车收益最大化是城际票额分配问题的难点所在。

3 模型建立

本文采用随机分配模型来解决城际铁路票额分配这个问题。分配模型前提基本假设是:①每次列车票额将全额在所运行区段内的停站分配;②每位旅客多购票没有折扣;③通过城际客流调查和统计分析,能够把握客流出行较强的规律性和稳定性。

动车组列车票额分配包括一等座、二等座座位的分配。下面以单列动车组列车二等座票额分配为例(一等座可以按此方法另行计算),以票额收益最大为目标,建立起随机规划分配模型。

某一城际铁路设有 $n(k=1, 2, \dots, n)$ 个车站,某一下行方向定义如下变量:设 p_{ij} 表示任意OD对 $i-j(i < j)$ 之间的票价; x_{ij} 表示决策变量,即票额分配数; c 表示该次列车二等座的定员,根据规定动车组列车不准许超员。根据某一时期各站所出售的票额数据分析,设OD对实际乘车客流量服从某一概率分布,则动态客流分配决策变量也可看做服从同一概率分布,并令均值为 μ_{ij} ,票额分配收益最大化为

$$\max z = \sum_i \sum_j p_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

为便于比较,可先建立整数规划限制条件

$$\text{s.t. } \alpha c \leq \sum_i^k \sum_{j=k+1}^n x_{ij} \leq c \quad (2)$$

$$\sum_i^k x_{im} = \sum_i^k x_{mj} \quad (i < m < j) \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

$$x_{ij} \in Z \quad (5)$$

限制条件中,(2)式表示各站二等座票额分配总和不大于该次列车的总运能,其中 α 表示上座率;(3)式表示客流平衡;(4)和(5)式表示票额分配数值为正整数。

考虑到旅客在某站购票具有随机性,经客流统计调查和分析,发现到某站购买某一列车次的旅客人数分布状况服从“中间大、两头小,左右基本对称”,可设 OD 对发送的客运量大于 μ_{ij} 的置信水平为 α_{ij} ,在以上整数规划限制条件中,增加随机分配限制条件,即

$$\Pr\{x_{ij} \geq \mu_{ij}\} \geq \alpha_{ij} \quad (6)$$

限制条件中,(6)式表示 OD 票额分配大于旅客需求均值的概率是在一定的置信水平情况下,体现票额分配方案的弹性和随机性以适应客流需求。

文献[4]和[5]从客流需求的最小量角度,即设 q_{ij} 表示客票需求的最小量,建立起的模型是

$$x_{ij} \geq q_{ij}, \forall i, j \quad (7)$$

为基础计算得出固定性模型。显见,若实际日客流需求大于最小客流需求的波动数值大,计算结果将很难适应。本文因为增加(6)式作为限制条件,可理解增加了票额分配的抗风险能力,但动态票额分配的参数要随客流需求变化情况作以相应调整,逐步寻求相关规律以确保参数的准确性,在此基础上使得列车收益最大。

4 机会约束规划求解

求解机会约束的一般方法是根据事先给定的置信水平,把机会约束规划转化为各自的等价类,然后用传统方法求解等价的确定性模型^[8]。

$$\Pr\{g(x) \geq \zeta\} \geq \alpha \quad (8)$$

式中: $g(x)$ 是决策变量 x 的函数; ζ 是随机变量, ϕ 为概率分布函数。对每一个给定的置信水平 α ($0 \leq \alpha \leq 1$),必存在一个或多个数 X_α ,使得

$$\Pr\{\zeta \leq X_\alpha\} = \alpha \quad (9)$$

$$X_\alpha = \inf\{X | X = \phi^{-1}(\alpha)\} \quad (10)$$

设 x_{ij} 服从正态分布 $N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$,则有

$$x_{ij} \geq \mu_{ij} + \sigma_{ij} \phi^{-1}(\alpha_{ij}) \quad (11)$$

这样就将机会约束转化为 $g(X) \geq X_\alpha$ 的确定性等价类。

5 算例分析

根据2010年10月列车运行图资料,以G7161次南京—上海虹桥下行方向间运行为例,南京站始发时刻为19:45,上海虹桥站终到时刻为21:40,采用为8辆编组列车,定员为546人,其中一等座席位58个、二等座席位为488个,停站分别为镇江、常州、无锡、苏州、昆山南、上海虹桥6个车站,根据2010年11月份实际二等座售票数据统计分析各站实际客流量服从正态分布,问题是如何确定最优票额分配方案。

南京—上海虹桥间动车组列车二等座票价票、客流正态分布参数见表1,表2。

表1 南京—上海间动车组列车二等座票价表

Tab.1 The secondclass seat fare of Nanjing-Shanghai EMU trains yuan

车站	镇江	常州	无锡	苏州	昆山南	上海虹桥
南京	31	66	85	105	122	146
镇江	—	35	54	74	91	115
常州	—	—	19	39	56	80
无锡	—	—	—	20	37	61
苏州	—	—	—	—	16	41
昆山南	—	—	—	—	—	24

表2 客流正态分布参数表 (μ, σ^2)

Tab.2 Normal distribution parameters of passengers (μ, σ^2)

车站	镇江	常州	无锡	苏州	昆山南	上海虹桥
南京	89,1.2	89,1.2	47,1.2	76,1.2	17,1.0	119,1.2
镇江	—	28,1.2	8,1.2	9,1.2	9,1.2	29,1.2
常州	—	—	49,1.2	22,1.0	5,1.2	39,1.2
无锡	—	—	—	19,1.2	8,1.2	60,1.2
苏州	—	—	—	—	31,1.2	66,1.2
昆山南	—	—	—	—	—	33,1.2

给定置信水平均为0.85,查正态分布计算表,有 $\phi^{-1}(0.85)=1.04$ 。

利用LINGO(9.0版)编程计算,设 $\beta=0.95$,得到随机规划解见表3,其中, q_{ij} 为最优方案的下限,根据式(11)计算可得; q_{ij}^* 为最优解,并且 $\alpha=0.85$,最大票额收益为71 024.00元。为便于比较,查找2011年3月份上中旬该次列车实际票额收入,基本在6.5~7.1万之间(包括一等座和二等座)。可知,随机算法结果可行,可作为优化调整票额分配的方案。同时,南京站实际日均该次列车卖票收入为3.4万,而随机分配方法分配南京站票额收入为3.7万,占最大票额收入的52%,比实际日均售票收入多3 000元。可见,该方法计算结果同时满足大站客流需要。

表3 利用整数规划法求解最优解 (q_{ij}, q_{ij}^*)

Tab.3 Optimal solution (q_{ij}, q_{ij}^*) of integer programming method

车站	镇江	常州	无锡	苏州	昆山南	上海虹桥
南京	90,135	90,90	48,48	77,77	18,18	120,120
镇江	—	30,76	9,9	10,10	10,10	30,30
常州	—	—	50,97	23,23	6,6	40,40
无锡	—	—	—	20,84	9,9	61,61
苏州	—	—	—	—	32,32	67,162
昆山南	—	—	—	—	—	34,34

列车开行方案的调整参考如下:若实际票额收入一段时间大于最大计算票额收益值,可以考虑该次列车增加编组的可能;若实际票额收入一段时间小于最大计算票额收益者,而且差值超过一定数值,就要具体分析某站的上座率情况,需要适当调整停站方案。

6 结束语

本文提出的票额分配随机规划模型是在参数设置准确的基础上得出的。因此,要制定科学的票额动态调整方案首先必须进行科学严谨的客流分析并作短期客流预测,然后制定详细的动态调整方案并组织实施,最后还要对调整的席位进行动态跟踪以检查调整的效果,为制定下一个票额动态调整方案提供数据基础,并辅之以每趟动车组列车开车5天前采取票额共用方式加以调整以适应旅客出行需求。按照确定式方案计算出来的票额分配方案,列车收益要比随机规划模型所得的数值要大,但后者方案能够很好的适应客流。票额分配方案实施后还要检查每趟列车的乘客上座情况,寻求相关规律,不断完善城际铁路动车组列车票额分配的优化。

参考文献:

[1] 冯飞. 铁路客票发售和预订系统票额分配研究[J]. 铁道运输与经济,2009,31(7):88-91.
 [2] 宋超. 旅客列车的票额分配[J]. 中国铁路,2005(8):63-64.

- [3] 李济坤,田原,黄四民. 列车票额分配优化模型应用探讨[J]. 铁道经济研究,2008(3):39-41.
- [4] 史峰,陈彦,周文梁,等. 基于用户平衡分析的铁路旅客列车票额分配计划制定及评价方法[J]. 中国铁道科学,2008,29(6):98-103.
- [5] 程谦,杨光. 优化动车组席位分配方案的整数规划法[J]. 兰州交通大学学报,2010,29(1):66-68.
- [6] 马保仁. 城际客运铁路运输组织探讨[J]. 铁道运输与经济,2007,3(29). 21-22
- [7] 王莹,刘军,苗建瑞. 城际铁路客运专线运输组织问题探讨[J]. 铁道运输与经济,2009,1(31),20-22.
- [8] 刘宝碇,赵瑞刚,王纲. 不确定性规划及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

Optimization for Randomized Allocation of Intercity Railway Ticket

Qu Siyuan^{1,2}, Xu Xingfang²

(1. Office of Dispatch, Shanghai Railway Bureau, Shanghai 200071, China; 2. School of Traffic and Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Ticket allocation is to achieve maximum efficiency and is a fundamental basis of adjustment and optimization of train in inter-city railway. It is also an important means to adapt to inter-city passenger demand. However, actual allocation and the integer allocation model cannot adapt to the needs of inter-city passenger. Based on the actual passenger, the paper adopts the actual car traffic as uncertain factor, which is a normal distribution, and proposes a flexible method of ticket allocation, which establishes the stochastic integer programming model to make a resolution by transforming into a certain equivalent method to maximize the whole train ticket revenue. The Shanghai-Nanjing Inter-city express train is taken as an example to be verified. Ticket randomized optimization will provide new ideas and methods of intercity railway tickets allocation.

Keywords: intercity railway; ticket allocation; randomized optimization