

大型机场公共交通运行优化研究——以天津机场为例

杨晓康, 王晓英

(山东外贸职业学院 民航教研室, 青岛 266100)

【摘要】为给航空旅客提供更便捷的集疏运服务,减少交通阻塞造成的延误,最有效、可持续的方法是发展大运力、安全便捷的陆侧公共交通。为减少乘客利用机场公共交通进行换乘的等待时间,提高机场公共交通的优越性及利用率,本文在借鉴城市公共交通运营管理优化研究方法和部分理论的基础上,对于机场公共交通发车频率优化进行了研究。基于乘客满意度和公共交通的容量限制,提出以乘客等待时间和企业运营成本加权平均值最小为总体目标的发车间隔优化模型。以天津机场为实例,对模型进行求解,得到其最佳发车间隔。

【关键词】航空运输 ;发车频率 ;模型优化 ;机场公共交通 ;陆侧交通

【中图分类号】U8

【文献标识码】A

【文章编号】1000-713X (2016) 05-0081-05

Study on Optimization of Large-Airport Public Transportation Operation: Take Example for Tianjin Airport

YANG Xiaokang, WANG Xiaoying

(Civil Aviation Department, Shandong Foreign Trade Vocational College, Qingdao 266100, China)

【Abstract】Air passenger transportation is becoming more and more large-scale and popular. To provide passengers more convenient transportation service, reduce waiting time caused by traffic jams, developing the large volume of land public transportation is effective and sustainable. In order to reduce the waiting time of passengers when passengers using public transportation at the airport, it is needed to raise the utilization ratio of airport public transport. This paper studies the airport public transport service frequency optimization, which refers to the urban public transportation operation management optimization theory and methods. On the basis of passenger satisfaction and public transport capacity limits, the paper proposes the departure interval optimization model, which depends on the minimum of the waiting time of passengers and the enterprise operation cost as the overall goal, and take tianjin Airport as an example to apply the model; get the best departure time interval.

【Keywords】air transportation; departure frequency; model optimization; airport public transportation; ground transportation

我国大型机场陆侧公共交通普遍具有轨道交通使用率低、公共汽车交通缺乏等问题,机场陆侧公共交通站台设计、流线设计以及运营调度方面远远差于亚洲的一些先进机场。特别是机场公共交通的发车频次的确定方面都存在较多问题^[1-2],经常是由经验值来确定,其取值并非都很合理。

机场陆侧公共交通发车频率的改善,是提高机场陆侧公共交通运营水平,改善服务质量、提高吸引力

的重要途径:发车间隔过大,会增加乘客的等待时间,导致大量乘客的流失,转向其他交通方式,从而导致收益减少;发车间隔过小,则使机场公交的满载率下降,车辆的利用率降低,成本上升,效益下降。因此合理的确定航空枢纽公共交通发车间隔是一个亟待解决的难题。本文分别从机场旅客利益和公交企业角度分析了机场公交发车频率问题,以天津机场为例,建立了以乘客等待抱怨程度最低、企业运营成本最低为

收稿日期:2016-01-23

录用日期:2016-03-29

作者简介:杨晓康(1988-),女,山东省泰安人,助教,硕士。

通讯作者:xkyang1988@126.com

目标的车辆发车频率的目标优化模型，预测了 2020 年高峰小时机场巴士和轨道交通最优发车频率，兼顾了乘客和企业经营者双方利益^[3-4]。

1 天津滨海机场概述

1.1 基本概况

天津滨海国际机场位于天津市东丽区，距天津市中心 13km、距离天津港 30km，北至津汉公路及京津高速公路、南至津北公路、东至京津塘高速公路、西至东外环路。天津滨海机场于 2002 年 12 月加入首都机场集团公司，是北京首都国际机场的分流机场和备降机场，是国内干线机场、国家一类航空口岸、国际定期航班机场，更是我国北方重要的航空货运基地。

目前，天津机场总占地面积 1283 万 m²，飞行区等级为 4E 级，可满足各类大型飞机全载起降。现有跑道 2 条，西跑道 3600×50m，东跑道尺寸 3 200×45m，为全国第四家具备双跑道运行能力的机场。天津机场航线网络已遍及国内外 87 个城市和地区，共有包括 4 家基地航空公司在内的 29 家国内外客货航空公司分别在天津运营着 97 条国际、国内航线。近 5 年客货吞吐量的平均增速是民航平均增长水平的 1.12 倍和 1.46 倍。

1.2 航班时刻特性分析

对天津机场的离港、到港航班时刻表进行分析，得到其离港、到港航班时间分布图（图 1、图 2）。从图中可以看出，离港航班一日内有两次高峰，分别是 8：00～11：00、15：00～19：00，最高峰时间段

为 8：00～9：00，此期间有 22 个航班；到港航班在一日内有四次高峰，分别为 11：00～14：00，16：00～18：00，20：00～21：00，22：00～23：00，最高峰时间段为 16：00～17：00 和 22：00～23：00，分别有 13 个航班。

一般，旅客从市区抵达机场的时间往往比航班离港的时间提前一小时，而到港旅客离开机场的时间会比航班到港时间晚半小时^[5]。

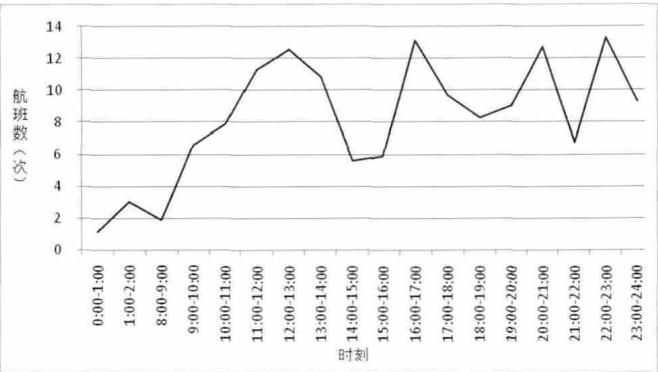


图 1 天津机场离港航班分布图

1.3 陆侧交通方式构成

天津滨海机场陆侧交通方式构成包含：出租车、社会车辆（自备车）、机场公交巴士和轨道交通。各种交通方式的分担率为出租车 39.1%、社会车辆 24.9%、机场巴士 14.9%、轨道交通 21.1%。机场陆侧的公共交通主要是机场巴士和轨道交通两种方式：机场轨道交通即地铁 2 号线，机场延长线连接空港至天津滨海国际机场的线路，起自空港经济区站，终点至滨海国际机场 2 号航站楼下的机场交通中心，全长 4.48 km，设一座车站即机场站；机场巴士线路 6 条（如表 1）。

表 1 天津机场巴士线路情况

线路		发车站	终点	发车时间	发车间隔（min/ 班）	票价（元）
机场巴士	1	天津机场客运区	天津站	6:00~19:30	30	10
	2	天津机场客运区	南京路	10:15~19:15	30	10
	3	天津机场客运区	天环客运站	12:00~17:00	60	20
机场专线	4	天津机场	塘沽开发区	8 :00~21 :00	30	25
	5	天津滨海机场	唐山道公交站	7 :10~20 :40	60	3
	6	天津滨海机场	天津乐园站	7 :20~20 :30	60	3

注：线路 5—机场专线公交 4 路，线路 6—机场公交专线 5 路。

2 大型机场公共交通优化模型

大型机场陆侧公共交通调度优化的目标就是要实现乘客和企业利益同时最大化程度上的满足, 即机场旅客等待时间最短、企业运营成本最低。如图 2。

2.1 航空客流特性的分析

(1) 到站旅客数

旅客下飞机后到达公交站点的数量并不是均匀分布的, 而是服从泊松分布。在 T 时间段内到达 k 个乘客的概率分布为:

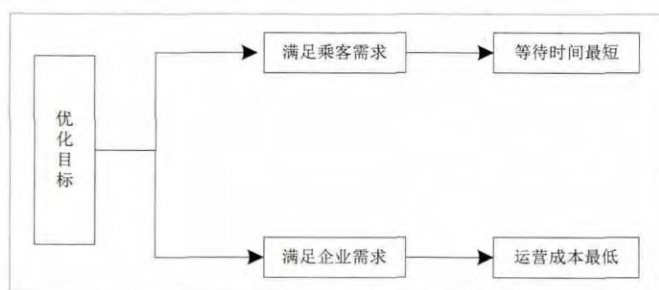


图2 公交巴士发车频率优化目标

$$P_k = P(X = k) = e^{-\lambda T} \cdot \frac{(\lambda T)^k}{k!}, k \geq 0 \quad (1)$$

其中: $\lambda (\lambda > 0)$ 表示旅客到达率。

因此第 i 个时段内到站乘客数:

$$P_i = \sum_{k=0}^{\infty} e^{-\lambda_i T_i} \cdot \frac{(\lambda_i T_i)^k}{k!} = \lambda_i T_i \quad (2)$$

是泊松分布的数学期望;

其中: λ_i 为第 i 个时段内旅客到达率; T_i 为第 i 个时段的长度。

(2) 等车不满旅客数

乘客候车都有一定的耐受度, 当超出一定的候车时间, 乘客就表现出不耐烦, 会对候车时间过长表示不满。候车时间越长则满意度越低。但这必须考察每一位旅客的候车时间, 致使计算过于繁杂, 为了简化模型, 这里满意度近似以满意率 (满意人数占总乘客人数的比例) 表示。所谓满意人数就是候车时间小于某一定值得乘客数。

旅客等车时间服从二项分布, 记一个时间段 $[0, T]$, 将此段分为两段 $[0, T_i - h_i]$ 和 $[T_i - h_i, T_i]$, 记 h_i 为 i 第段时间乘客能接受的最大等车时间。则乘客到达时刻落在之间 $[0, T_i - h_i]$, 这部分乘客对等车有抱怨, 则概率为:

$$p = \frac{T_i - h_i}{T_i} \quad (3)$$

而乘客到达时刻落到 $[T_i - h_i, T_i]$ 之间, 乘客可接受等车, 其概率为: $\frac{h_i}{T_i}$;

第 i 个时段内乘客出现前者情况的次数服从二项分布, 其出现 x 次的概率:

$$p_x = C_{p_i}^x \cdot p^x \cdot (1-p)^{p_i-x} \quad (4)$$

因此等待抱怨乘客数:

$$p'_i = \sum_{x=0}^{p_i} x \cdot C_{p_i}^x \left(\frac{T_i - h_i}{T_i} \right)^x \left(\frac{h_i}{T_i} \right)^{p_i-x} = \frac{T_i - h_i}{T_i} P_i \quad (5)$$

2.2 模型变量定义及确定

l_i 为第 i 个时段, 根据航班时刻表, 可将一天旅客流分成 l 段;

T_i 为第 i 个时段的时间间隔 (分钟), 根据客流规律确定;

n_i 为第 i 个时段的发车次数;

t_i 为第 i 个时段的发车时间间隔 (分钟),

$$t_i = \frac{T_i}{n_i} \quad (6)$$

h_i 为第 i 个时段乘客所能接受的等车时间上限, 根据调查或经验确定; $q_{\text{额}}$ 为每辆车的额定载客数, 根据实际取值; r_{min} 为车辆最低载客率; C 为每辆车单边行驶的费用 (元); p 为票价 (元); λ_i 为第 i 个时段内乘客平均到达率; p_i 为第 i 个时段内到站乘客数, $p_i = \lambda_i T_i$; P 为全天该线路的总乘客数,

$$P = \sum_{i=1}^l p_i \quad (7)$$

p' 为全天该线路对等车时间不满的总乘客数,

$$p' = \sum_{i=1}^l (p_i \cdot \frac{t_i - h_i}{t_i}) \quad (8)$$

r_i 为第 i 个时段的平均载客率,

$$r_i = \frac{p_i}{q_{\text{额}} \cdot n_i} \quad (9)$$

2.3 模型建立

本文选取企业效益成本百分比、乘客等车不满百分比两个目标，分别用 2 个百分数指标来描述。一般情况下，每发一列车运营企业都有一个收益的最低期望值。当收入低于该值时，企业会感到不满意。

乘客等待抱怨比：

$$w_1 = \frac{p}{P} \cdot 100\% \quad (10)$$

企业效益比：

$$w_2 = \frac{\rho \cdot P - C \cdot n}{C \cdot n} \cdot 100\% \quad (11)$$

建立目标函数：

$$\min W = \min[\eta_1 \cdot w_1 - \eta_2 \cdot w_2] \quad (12)$$

其中： η_1 、 η_2 是 2 个非负权重因子。

约束条件，平均满载率不低于最低满载率：

$$r_i = \frac{P_i}{q_{\text{额}} \cdot n_i} \geq r_{\min} \quad (13)$$

综合得发车频率优化模型如下：

$$\begin{aligned} \min W &= \min[\eta_1 \cdot \frac{p}{P} \cdot 100\% - \eta_2 \cdot \frac{\rho \cdot P - C \cdot n}{C \cdot n} \cdot 100\%] \\ \text{s.t.} \quad t &\geq \frac{T \cdot q_{\text{额}} \cdot r_{\min}}{P_i} \end{aligned} \quad (14)$$

3 天津机场公共交通实例应用

3.1 机场巴士发车频率优化

(1) 参数取值

根据实际调查及经验值，获取到天津机场 6 条机场巴士的票价、公交公司开行单列车期望收入的临界值、每辆车的实际额定载客数、高峰小时乘坐该线路的总旅客人数、高峰小时旅客所能接受的等车时间上限、车辆最低载客率。基本数据及模型参数如表 2 所示。

根据公式 (9) 对天津机场进行建模，则天津机场高峰小时公交巴士发车频率建模如下：

$$\begin{aligned} \min W &= \min[\eta_1 \cdot \frac{t-h}{t} \cdot 100\% - \eta_2 \cdot \frac{\rho \cdot P - C \cdot n}{C \cdot n} \cdot 100\%] \\ \text{s.t.} \quad t &\geq \frac{T \cdot q_{\text{额}} \cdot r_{\min}}{P} \end{aligned} \quad (15)$$

表 2 2020 年各线路相关数据统计表

机场公交巴士线路	1	2	3	4	5	6
ρ (元)	10	10	25	20	3	3
C (元)	45	42	53	130	43	49
$q_{\text{额}}$ (人)	45					
P (人)	310	310	155	310	155	155
h (分钟)	20	20	40	20	40	40
r_{\min}	50%					

其中： T 取值 60 分钟； n 为 T 时间内发车次数。

由灰色预测，天津滨海国际机场 2020 年旅客吞吐量为 2630 万人次，高峰小时交通流量 18742 人次，在此，我们取双向客流平衡，即 2020 年公交巴士高峰小时的单向总客流量为 1396 人。考虑乘客利益权重高于公司效益，因此本文取 $\eta_1 = 0.7$ ， $\eta_2 = 0.3$ ；该模型计算采用数据分析软件 Matlab 数学工具，可以求得优化模型中 6 条机场巴士线路的最优解，如表 3。

表 3 模型计算值

线路	2020 年
1	6.3447
2	8.6686
3	8.5987
4	10.7840
5	22.6109
6	24.1369

根据模型的计算结果，结合天津滨海国际机场实际及旅客需求，及公交公司收益，本文给出天津机场公交发车频率如表 4 所示。

3.2 轨道交通发车频率优化

(1) 参数取值

天津地铁 2 号线运营现状如表 5 所示，总运营时间为 16 小时 10 分钟。车辆采用 6 节编组，最大载客量 $q_{\text{额}} = 1832$ 人，乘客高峰小时可接受的候车时间 $h = 8\text{min}$ ，平均票价收入为 5 元/人次，运营企业开行单列车期望收入的临界值定位 2740 元。权重取值权认为 $\eta_1 = 0.7$ ， $\eta_2 = 0.3$ 。预测，2020 年天津机场轨道

交通 2 号线高峰小时单向分担交通流量 1977 人, 根据国际民航协会的统计和机场实际情况, 高峰小时乘坐轨道交通 2 号线出行的周围居民约为 3960 人。

(2) 优化模型计算结果

该模型的计算采用数据分析软件 Matlab 仿真, 计算出行车间隔为 10.17min。因此, 6~8min 的行车间隔满足天津机场 2020 年的需求。故, 2020 年天津机场轨道交通 2 号线在高峰小时的最优发车间隔为 6~8min。

年份(年)\线路	1	2	3	4	5	6
2020 年	15	15	15	15	30	30

单位: 秒

地铁 2 号线	
车型	3 动 3 拖 6 节编组的 B1 型列车
时速	80km/h
载客量	全车设有 256 个座位, 定员荷载 1 440 人, 最高可承载 1 832 人
站点	轨道全长 27km。西起曹庄站, 东到空港经济区站, 共 19 个站点 2014 年 6 月开通空港经济区至天津机场区段
首末班车时间	空港经济区站 6:00 ~ 22:10; 曹庄站: 6:00 ~ 22:10
行车间隔	高峰 6 ~ 8 分钟; 其他时段 8 ~ 9 分钟

4 结论

本文主要研究了目前我国大型机场公共交通发车频率的问题。参考借鉴了城市道路公交运营组织优化的研究理论和方法^[6-9], 对我国大型机场公共交通发车频率进行了分析, 提出一个机场公共交通发车频率优化模型, 该模型以乘客和运营者总费用最小为目标。结合天津机场的实例, 计算出天津机场机场巴士和轨道交通在高峰小时时段下的最佳发车间隔: (1) 机场巴士发车频率需要进一步调整: 1、2、3、4 号线发车频率调整为 15min, 5、6 号线发车频率调整为 30min; (2) 机场轨道交通到 2020 年仍可以满足需求,

所以发车频率保持在现有的高峰时刻 6~8min 的发车频率。

验证了模型合理性以及算法可行性, 可以为减少乘客等待时间, 加强机场与城市的联系, 最大限度地发挥航空运输的快捷优势提供理论依据。当然, 大型机场公共交通调度运营是一个复杂的问题, 涉及旅客、机场及企业等多个部门, 而且针对以机场为主体的陆侧公共交通发车频率的研究较少, 因此, 本文的研究尚处于初步, 有许多问题需要进一步的探讨, 例如如何提高权数赋值精确性等。

【参考文献】

- [1] 徐瑶峰. 我国枢纽机场陆侧交通组织的特点与问题分析[J]. 华中建筑, 2012(6):69-73.
- [2] 冯继平, 贺玉龙. 机场陆侧公共交通方式运力水平研究[J]. 交通标准化, 2013,12(23):74-76.
- [3] 李细霞. 公交线路车辆调度优化模型研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007,5.
- [4] 陈茜, 牛学勤, 陈学武, 王伟. 公交线路发车频率优化模型[J]. 公路交通科技, 2004,2(2):103-108.
- [5] 岳喜展. 机场陆侧交通需求预测及集散道路方案设计[D]. 长春: 吉林大学, 2011, 12.
- [6] 严波. 城市轨道交通行车间隔时间优化模型研究[J]. 城市轨道交通研究, 2008,(6):53-62.
- [7] 吕鹏. 公交车调度[J]. 工程数学学报, 2002,2(19):75-80.
- [8] 牛学勤. 城市公交车辆调度优化理论与方法[D]. 南京: 东南大学, 2004.
- [9] 唐明辉, 王健全. 城轨列车编组型式及牵引电机的选择[J]. 铁道机车车辆, 2005,6(3):28-31.